

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Definisi Rangka Mesin**

Rangka mesin injeksi plastik adalah komponen struktural utama yang mendukung dan menyatukan berbagai komponen mesin injeksi, seperti unit injeksi, plat tetap, plat bergerak, dan sistem kontrol. Fungsi utama rangka adalah untuk memastikan kestabilan, kekuatan, dan presisi selama proses injeksi, serta mendistribusikan beban dan menahan tekanan tinggi yang terjadi selama operasi, tanpa rangka sebuah mesin tidak bisa digunakan secara maksimal [5].

##### **2.1.1 Fungsi Rangka pada Mesin**

###### **1. Dukungan Struktural**

Rangka mesin berfungsi sebagai tulang punggung struktural yang mendukung seluruh komponen mesin. Ini memastikan bahwa setiap bagian mesin tetap pada posisinya dan berfungsi dengan benar selama operasi. Tanpa rangka yang kuat, komponen-komponen lain tidak akan memiliki dasar yang stabil untuk dipasang.

###### **2. Stabilitas dan Ketahanan**

Rangka mesin harus mampu menahan beban berat dan getaran yang dihasilkan selama proses kerja. Stabilitas ini penting untuk menjaga akurasi dan presisi produk akhir. Mesin injeksi plastik, misalnya, harus memastikan bahwa cetakan dan komponen injeksi tetap stabil selama siklus operasi untuk menghasilkan produk yang konsisten.

### 3. Distribusi Beban

Salah satu fungsi penting dari rangka mesin adalah mendistribusikan beban dari berbagai komponen dan proses kerja secara merata. Distribusi beban yang baik mencegah terjadinya deformasi atau kerusakan struktural yang bisa mempengaruhi kinerja mesin.

### 4. Penempatan Komponen

Rangka mesin menyediakan tempat dan titik pemasangan untuk berbagai komponen mesin seperti unit injeksi, sistem hidrolik, sistem kontrol, dan lain-lain. Ini memastikan bahwa semua komponen dapat dipasang dengan tepat dan berfungsi secara sinergis untuk menghasilkan operasi yang efisien.

### 5. Reduksi Getaran

Getaran yang dihasilkan selama operasi mesin dapat mempengaruhi kualitas produk akhir dan umur mesin. Rangka yang dirancang dengan baik dapat membantu meredam getaran ini, mengurangi kebisingan, dan meningkatkan kenyamanan serta keamanan operator.

## 2.1.2 Jenis Jenis Rangka Mesin

### 1. Rangka Terbuka (*Open Frame*)

Rangka terbuka adalah jenis rangka yang tidak memiliki penutup atau dinding yang menutupinya. Struktur ini memudahkan akses ke komponen internal untuk pemeliharaan dan perbaikan.

Keunggulan:

- Akses mudah untuk perawatan dan perbaikan
- Lebih murah dalam produksi karena membutuhkan lebih sedikit material
- Pendingin alami yang lebih baik karena ventilasi yang terbuka

Kekurangan:

- Rentan terhadap kontaminasi debu dan kotoran
- Kurang proteksi terhadap komponen internal dari dampak eksternal

## 2. Rangka Tertutup (*Closed Frame*)

Rangka tertutup memiliki penutup atau dinding yang melindungi komponen internal. Struktur ini menawarkan perlindungan lebih baik terhadap kontaminasi dan kerusakan fisik.

Keunggulan:

- Melindungi komponen internal dari debu, kotoran dan kerusakan fisik
- Memberikan struktur yang lebih kokoh dan stabil
- Mengurangi kebisingan operasi

Kekurangan:

- Biaya produksi lebih tinggi karena membutuhkan lebih banyak material
- Akses ke komponen internal lebih sulit sehingga perawatan dan perbaikan lebih rumit
- Potensi masalah pendingin karena ventilasi yang lebih terbatas

## 3. Rangka Modular

Rangka modular terdiri dari beberapa komponen atau modul yang dapat dipasang dan diganti sesuai kebutuhan. Desain ini memungkinkan fleksibilitas dan kemudahan dalam modifikasi dan perbaikan.

Keunggulan:

- Fleksibilitas tinggi untuk modifikasi dan ekspansi

- Memungkinkan penggantian yang rusak tanpa harus mengganti seluruh rangka
- Dapat diadaptasi untuk berbagai aplikasi

Kekurangan:

- Biaya awal mungkin lebih tinggi karena kompleksitas desain
- Memerlukan perencanaan yang matang untuk memastikan kompatibilitas modul

#### 4. Rangka *Welded (Welded Frame)*

Rangka ini dibuat dengan mengelas komponen-komponen struktural menjadi satu unit yang kokoh. Jenis ini umum digunakan untuk aplikasi berat di mana kekuatan dan kekakuan adalah prioritas.

Keunggulan:

- Kekuatan dan kekakuan tinggi
- Tidak ada sambungan atau titik lemah yang bisa menyebabkan kegagalan struktural

Kekurangan:

- Sulit untuk dimodifikasi atau diperbaiki jika terjadi kerusakan
- Lebih berat dibandingkan dengan jenis rangka lainnya

#### 5. Rangka Tubular

Rangka ini terdiri dari pipa atau tabung yang dihubungkan untuk membentuk struktur. Sering digunakan di kendaraan seperti sepeda motor dan mobil balap.

Keunggulan:

- Kekuatan dan kekakuan tinggi dengan berat yang relatif rendah

- Desain yang memungkinkan fleksibilitas dalam konfigurasi

Kekurangan:

- Proses manufaktur yang rumit
- Sambungan pipa bisa menjadi titik lemah jika tidak dibuat dengan baik

#### 6. Rangka *Cast* (*Cast Frame*)

Rangka ini dibuat dengan cara mencetak logam cair ke dalam cetakan. Jenis ini sering digunakan untuk desain yang kompleks.

Keunggulan:

- Dapat membentuk desain yang membentuk kompleks dan desain
- Kekakuan dan kekuatan yang baik

Kekurangan:

- Biaya produksi yang tinggi
- Sulit untuk dimodifikasi setelah pengecoran selesai

#### 7. Rangka *Extruded* (*Extruded Frame*)

Logam dipanaskan lalu didorong melalui cetakan dengan bentuk tertentu untuk membuat profil panjang yang seragam seperti balok, pipa, atau bentuk kompleks lainnya.

Keunggulan:

- Produksi cepat dan efisien
- Material ringan dengan kekuatan yang cukup baik
- Mudah dimodifikasi dan dirakit

Kekurangan:

- Tidak sekuat rangka welded atau cast
- Terbatas pada bentuk profil yang dapat diekstrusi

## 8. Rangka Komposit (*Composite Frame*)

Rangka ini dibuat dari material komposit seperti serat karbon atau fiberglass. Jenis ini digunakan di aplikasi yang membutuhkan kombinasi kekuatan tinggi dan berat ringan.

Keunggulan:

- Ringan namun sangat kuat
- Tahan korosi dan faktor lingkungan lainnya

Kekurangan:

- Biaya produksi yang sangat tinggi
- Proses manufaktur yang kompleks

## 2.2 Desain Rangka Mesin

Desain rangka mesin injeksi plastik merupakan bagian krusial dalam memastikan kestabilan dan keandalan mesin dalam operasi, untuk memahami cara merancang dan membuat rangka utama dari mesin, merupakan bagian penting dalam proses desain [6]. Berikut adalah hal-hal yang perlu dipertimbangkan saat merancang struktur rangka mesin injeksi plastik bersama dengan beberapa rumus yang terkait:

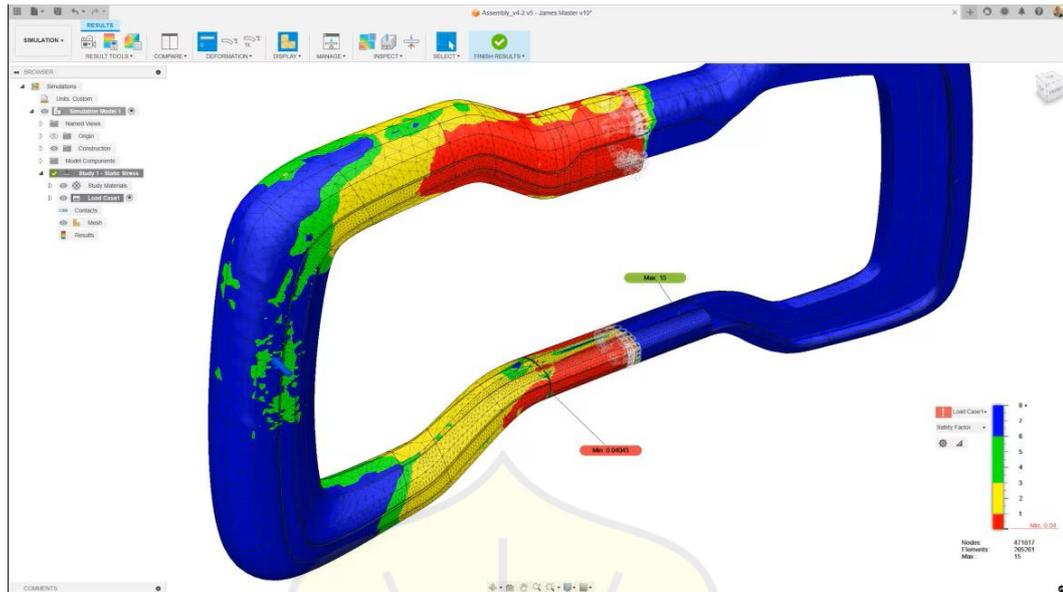
### 2.2.1 Aspek Desain Rangka

1. Kekuatan Struktural: Rangka harus dirancang untuk menahan semua gaya dan beban yang dihasilkan selama proses injeksi plastik. Ini termasuk gaya injeksi, tekanan injeksi, dan gaya dinamis selama siklus operasional.

2. Kekuatan Struktural: Rangka harus dirancang untuk menahan semua gaya dan beban yang dihasilkan selama proses injeksi plastik. Ini termasuk gaya injeksi, tekanan injeksi, dan gaya dinamis selama siklus operasional.
3. Material: Pemilihan material untuk rangka harus mempertimbangkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan terhadap keausan serta dampak korosi jika diperlukan.
4. Perhitungan Beban: Memperkirakan beban maksimum yang akan diterima rangka selama operasi. Ini meliputi analisis statis (misalnya, beban mati dan hidup) dan analisis dinamis (misalnya, gaya dinamis saat mesin beroperasi).

### **2.3 Finite Element Analysis (FEA)**

Analisis elemen hingga (FEA) merupakan sebuah metode yang menggunakan komputer untuk memperkirakan bagaimana suatu produk akan bereaksi terhadap gaya, getaran, panas, aliran fluida, dan efek fisik lainnya di dunia nyata. Analisis elemen hingga menunjukkan apakah suatu produk akan rusak, aus, atau bekerja sesuai rancangannya. Dalam proses pengembangan produk, simulasi FEA digunakan untuk memprediksi apa yang akan terjadi saat produk digunakan dalam kehidupan sehari-hari, produk harus bekerja dengan baik dan efektif.



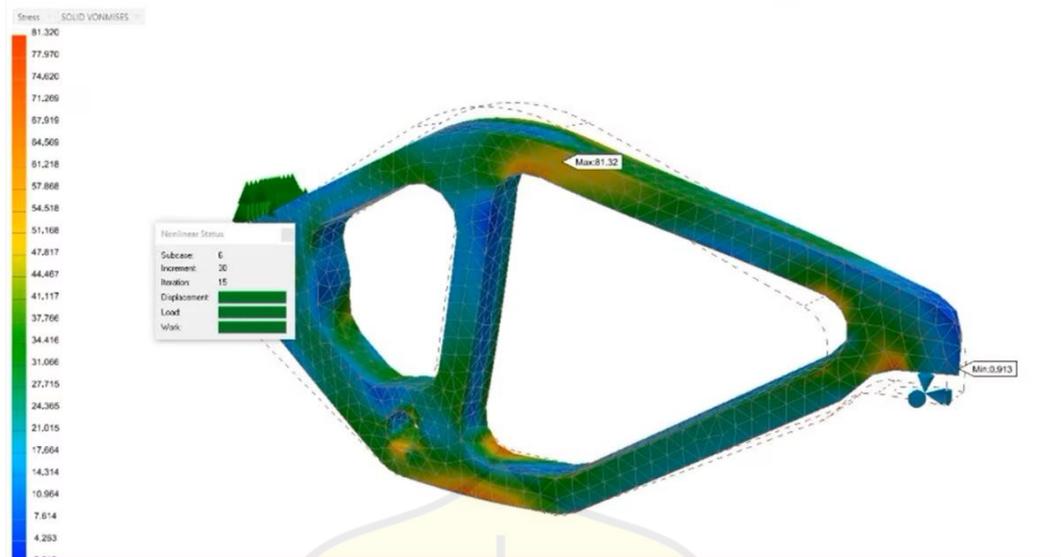
*Gambar 2.1 Simulasi Finite Element Analysis*

(sumber: Autodesk)

Analisis elemen hingga membantu memprediksi pengaruh dari efek fisik, seperti: tekanan mekanis, getaran mekanis, kelelahan, gerakan, transfer panas, aliran fluida, elektrostatika, dan cetakan injeksi plastik. FEA dapat digunakan untuk menganalisis rangka dengan cara:

- Membagi model matematis menjadi komponen geometri sederhana yang disebut elemen hingga.
- Menghubungkan elemen-elemen melalui node untuk membentuk jaringan yang menggambarkan seluruh struktur.
- Menerapkan rumus matematika dan batas pada mesh untuk memperkirakan bagaimana struktur akan bereaksi terhadap faktor lingkungan, suhu, dan beban.

FEA dapat digunakan untuk menganalisis berbagai permasalahan teknik, seperti: Kekuatan struktur, Korosi, Perpindahan panas, Gabungan beban yang terjadi.



*Gambar 2.2 Simulasi Finite Element Analysis*

(sumber: Autodesk)

## 2.4 Material Rangka Baja

Baja adalah campuran logam yang terbuat dari besi (Fe) dan karbon (C), dengan kandungan karbon. Baja adalah bahan konstruksi yang sering dipakai. Material berbahan dasar logam ini memiliki banyak keunggulan terutama kekuatan dan kecepatan pengoperasian sehingga banyak diminati sebagai bahan bangunan. [7].

### 2.4.1 Klasifikasi Baja Berdasarkan Komposisi Kimia

#### 1. Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel):

- Mengandung kurang dari 0.3% karbon
- Mudah untuk diformat dan las, digunakan dalam konstruksi umum, peralatan otomotif dan produk konsumen

#### 2. Baja Karbon Menengah (Medium Carbon Steel)

- Mengandung sekitar 0.3% - 0.6% karbon

- Lebih kuat dan keras daripada baja rendah, digunakan untuk peralatan mekanis, roda gigi dan komponen peralatan berat
3. Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)
    - Mengandung lebih dari 0.6% karbon
    - Sangat keras dan tahan aus, digunakan untuk pembuatan alat potong dan peralatan tahan aus lainnya

#### 2.4.2 Klasifikasi Baja Berdasarkan Paduannya

1. Baja Tahan Karat (Stainless Steel)
  - Mengandung minimal 10.5% kromium (Cr) untuk mencegah korosi.
  - Tersedia dalam berbagai grade seperti 304 (18-8 stainless), 316 (untuk ketahanan terhadap korosi yang lebih tinggi), dan lainnya. Digunakan dalam industri makanan, kimia, dan konstruksi tahan karat.
2. Baja Paduan (Alloy Steel)
  - Mengandung unsur campuran seperti nikel (Ni), molibdenum (Mo), mangan (Mn), dan lainnya untuk meningkatkan sifat-sifat tertentu seperti kekuatan, ketahanan terhadap korosi, atau kemampuan kerja pada suhu tinggi.
  - Contoh baja paduan termasuk AISI 4140 (baja paduan chromium-molybdenum), digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi seperti poros, roda gigi, dan komponen mesin berat.

#### 2.5 Proses Pengelasan

Pengelasan adalah cara untuk menyambung dua atau lebih bahan dengan mencairkan bagian yang akan disambung, lalu membentuk ikatan saat mendingin.

Biasanya digunakan untuk logam atau termoplastik. Pengelasan adalah pekerjaan yang sering digunakan di dunia konstruksi dan industri saat ini [8].

### 2.5.1 Langkah Langkah Proses Pengelasan

#### 1. Persiapan Material

Potongan-potongan logam yang akan disambung harus dipersiapkan dengan membersihkan permukaannya dari kotoran, karat, atau cat. Persiapan ini penting untuk memastikan pengelasan yang kuat dan bersih.

#### 2. Pengaturan Posisi

Potongan-potongan logam yang akan disambung ditempatkan dalam posisi yang tepat sesuai dengan desain dan spesifikasi pengelasan. Posisi ini harus memungkinkan akses yang baik bagi alat pengelasan.

#### 3. Pemanasan

Pada beberapa kasus, terutama untuk material tebal atau aplikasi khusus, pemanasan pra-pengelasan dapat diterapkan untuk mengurangi tegangan internal dan memperbaiki sifat mekanis logam.

#### 4. Aplikasi Elektroda:

Proses pengelasan umumnya melibatkan penggunaan elektroda yang dilelehkan untuk menyatukan potongan logam. Ada beberapa metode pengelasan yang umum digunakan, di antaranya:

- Pengelasan Listrik: Melibatkan penggunaan arus listrik yang diterapkan melalui elektroda untuk mencairkan logam dan menghubungkannya.
- Pengelasan Gas: Menggunakan gas untuk mempertahankan atmosfer yang stabil selama proses pengelasan, seperti pengelasan oksigen-propana atau pengelasan gas inert (seperti argon).

- Pengelasan Tungku: Menggunakan tungku untuk memanaskan potongan-potongan logam hingga titik leleh dan menyatukannya secara langsung atau dengan bantuan bahan tambah.

#### 5. Penyambungan dan Pendinginan:

Setelah penyambungan selesai, biasanya proses dilanjutkan dengan pendinginan perlahan untuk mencegah terjadinya tegangan termal yang dapat menyebabkan retak atau deformasi pada logam.

#### 6. Pemeriksaan dan Pengujian:

Setelah pengelasan selesai, penting untuk memeriksa kekuatan dan integritas sambungan. Ini dapat meliputi pengujian visual, pengujian kekuatan, atau pengujian non-destruktif seperti ultrasonik untuk memastikan kualitas pengelasan.

### 2.5.2 Keuntungan Pengelasan:

#### 1. Penyambungan kuat

Proses pengelasan menciptakan penyambungan yang kuat antara logam.

#### 2. Fleksibilitas

Bisa digunakan untuk berbagai jenis logam dan ketebalan.

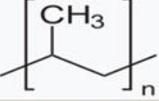
#### 3. Efisiensi

Cepat dan efisien dalam menyambung logam.

### 2.6 *Polypropilene*

Polipropilena atau polipropena (PP) adalah jenis plastik yang bisa digunakan dalam banyak usaha seperti pengemasan, tekstil, alat tulis, perlengkapan laboratorium, komponen otomotif, dan uang kertas polimer. Polimer termoplastik adalah polimer yang tidak dapat menahan panas, material menggunakan plastik

jenis polypropylene [9]. Sifat fisik dan kimia polypropylene dapat dilihat pada gambar berikut.

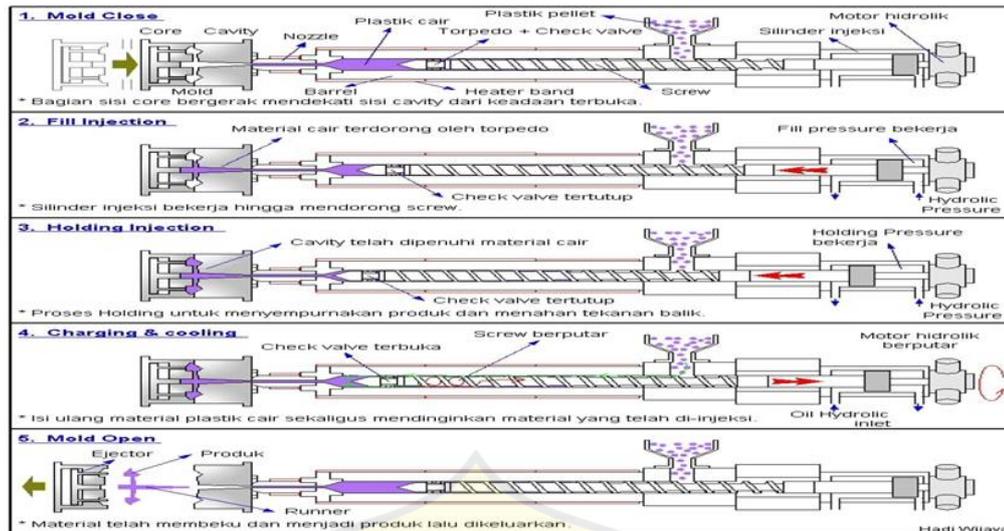
Polipropilena	
	
Nama	
Nama IUPAC	poly(propene)
Nama lain	Polipropilena; Polpropena; Polpropena 25 [USAN]; Polimer propena; Polimer propilena; homopolimer 1-Propena
Penanda	
Nomor CAS	9003-07-0 
Sifat	
Rumus kimia	(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>x</sub>
Densitas	0.855 g/cm <sup>3</sup> , tak berbentuk 0.946 g/cm <sup>3</sup> , kristalin
Titik lebur	~ 160 °C
Kecuali dinyatakan lain, data di atas berlaku pada temperatur dan tekanan standar (25 °C [77 °F], 100 kPa).	

*Gambar 2.3 Polypropilene*

(sumber: <https://id.wikipedia.org/wiki/Polipropilena>)

## 2.7 Mesin Injeksi Plastik

Proses injection molding mirip dengan operasi jarum suntik. Resin plastik dilelehkan di barrel lalu disuntikkan ke dalam mold yang tertutup rapat di dalam mesin. Lelahan tersebut akan mengisi ruang di mold sesuai dengan bentuk produk yang diinginkan [10]. Proses siklus untuk injection molding melibatkan empat tahapan. Pertama, cetakan harus ditutup rapat sebelum bahan plastik disuntikkan ke dalamnya. Kemudian, plastik cair disuntikkan ke dalam cetakan untuk membentuk produk sesuai dengan desain yang diinginkan. Setelah itu, material plastik didinginkan dalam proses cooling. Terakhir, produk plastik dikeluarkan dari cetakan saat mold dibuka menggunakan ejection system.



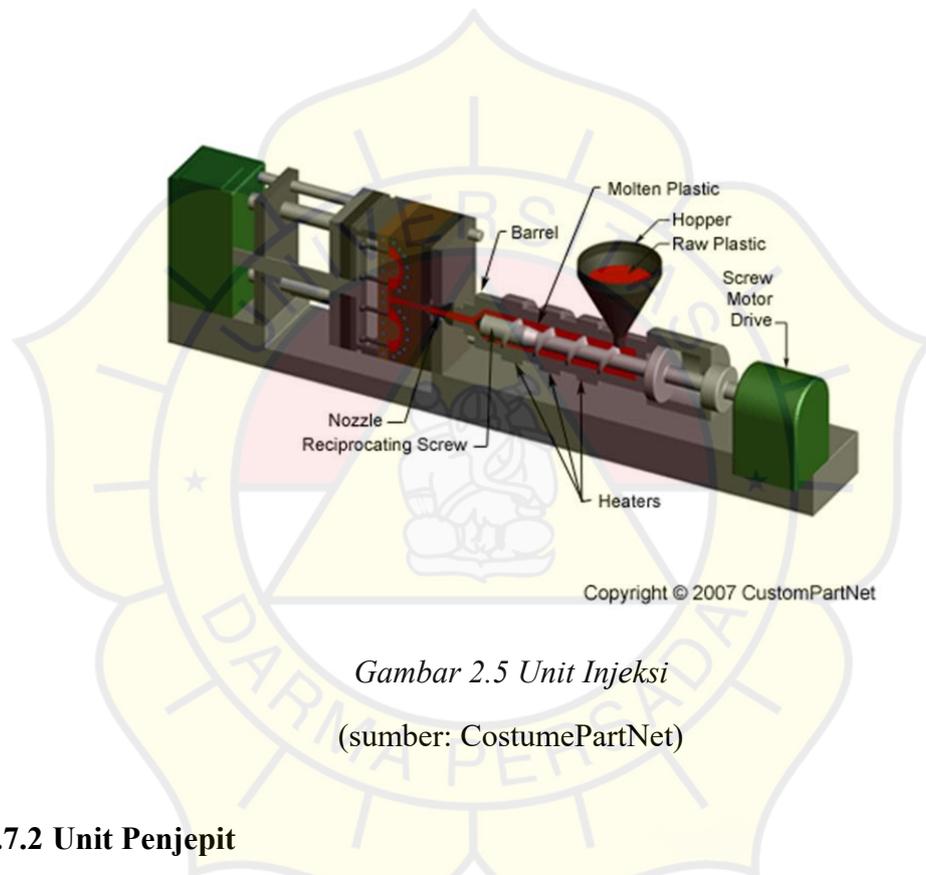
Gambar 2.4 Proses Kerja Injeksi Molding

(sumber: <https://ptmitajayamandiri.com/cara-kerja-mesin-injeksi-plastik/>)

### 2.7.1 Unit Injeksi

Unit injeksi adalah bagian mesin yang bertugas memanaskan dan menyuntikkan bahan ke dalam cetakan. Bagian pertama dari unit ini adalah hopper, sebuah wadah besar tempat menuangkan plastik mentah. Hopper memiliki bagian bawah terbuka, sehingga material bisa dimasukkan ke dalam tong. Laras digunakan untuk memanaskan dan menyuntikkan material ke dalam cetakan. Mekanisme ini sering kali berupa penembak ram atau sekrup bolak-balik. Injektor ram mendorong material maju ke bagian yang dipanaskan menggunakan ram atau pendorong yang biasanya ditenagai dengan hidrolik. Sekarang, teknik yang lebih umum digunakan adalah sekrup bolak-balik. Sekrup bolak-balik digunakan untuk mendorong material ke depan dengan cara memutar dan menggesernya secara aksial. Sekrup ini biasanya didukung oleh motor hidrolik atau listrik. Material masuk ke dalam alur sekrup melalui hopper dan bergerak ke arah cetakan ketika sekrup berputar. Ketika maju, tekanan, gesekan, dan pemanasan tambahan membuat material

mencair di sekitar sekrup bolak-balik. Plastik cair disuntikkan dengan cepat ke dalam cetakan melalui nosel di ujung laras dengan tekanan dan gerakan sekrup ke depan. Peningkatan tekanan ini memungkinkan materi untuk dipadatkan dan dipaksa masuk ke dalam cetakan. Setelah bahan mengeras di dalam cetakan, sekrup bisa ditarik keluar dan diisi kembali dengan bahan tambahan untuk tahap berikutnya.

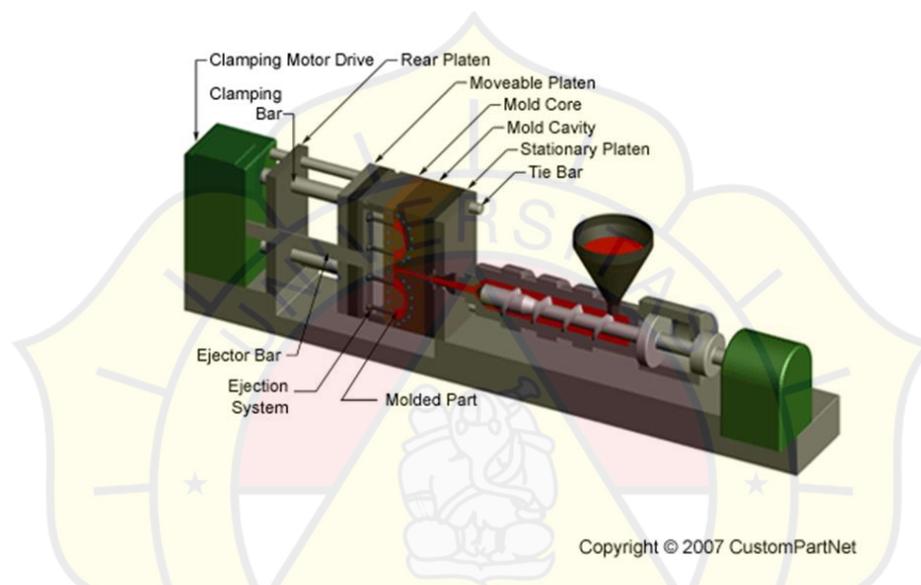


*Gambar 2.5 Unit Injeksi*  
(sumber: CostumePartNet)

### 2.7.2 Unit Penjepit

Sebelum plastik cair dimasukkan ke dalam cetakan, kedua bagian cetakan harus ditutup rapat oleh unit penjepit. Saat cetakan dipasang ke mesin cetak injeksi, setiap bagian dipasang pada pelat. Bagian depan cetakan, juga disebut rongga cetakan, terpasang pada pelat yang tidak bergerak dan sejajar dengan nosel unit injeksi. Inti cetakan, yang merupakan bagian belakang cetakan, dipasang pada pelat yang bisa bergerak dan meluncur di sepanjang batang pengikat. Motor hidrolis

menggerakkan batang penjepit yang mendorong plat bergerak ke arah plat yang diam. Motor ini memberikan kekuatan yang cukup untuk menjaga cetakan tetap tertutup rapat saat bahan diinjeksikan dan di dinginkan. Setelah waktu pendinginan selesai, cetakan dibuka dengan menggunakan motor penjepit. Sistem ejsksi terletak di bagian belakang cetakan. Sistem ini menggunakan batang ejektor untuk mengeluarkan bagian yang sudah mengeras dari cetakan.

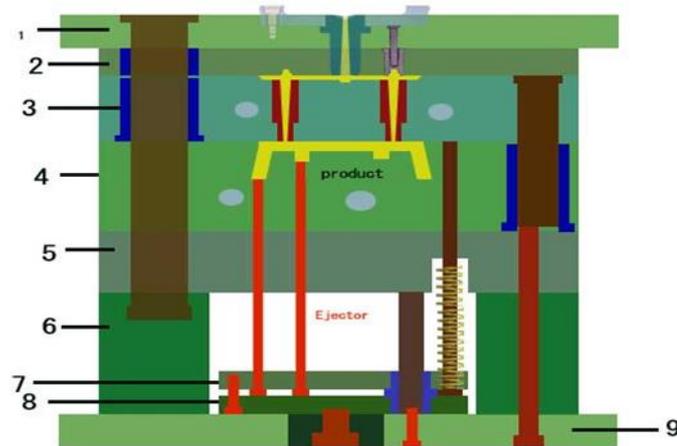


*Gambar 2.6 Unit Penjepit*

(sumber: *CostumePartNet*)

### **2.7.3 Komponen-komponen Cetakan**

Molding unit merupakan bagian utama dari mesin injeksi plastik yang berbentuk plat dengan rongga di dalamnya yang berfungsi sebagai cetakan. Komponen molding seperti Gambar 2.7 di bawah ini:



Gambar 2.7 Molding Unit

(sumber: <https://id.abismoldengineering.com/info/basic-functions-of-mold-base-parts-19416129.html>)

Tabel 2.1 Nama dan Fungsi Komponen Cetakan

1	<i>Top Plate</i>	Berfungsi untuk menyematkan <i> mold </i> dengan <i> Machine Stationary Plate </i> .
2	<i>Striper runner (runner plate)</i>	Berfungsi untuk menjorokkan keluar <i> runner </i> dari <i> moldbase </i> .
3	<i>Cavity plate</i>	<i> Untuk membuat produk di bagian rongga atau tempat menaruh Cavity Insert. </i>
4	<i>Core plate</i>	Membuat produk dari sisi inti atau menempatkan <i> Core Insert </i> .
5	<i>Support plate</i>	Berfungsi untuk menjaga tekanan yang muncul saat proses injeksi atau menahan <i> Core Insert </i> .
6	<i>Spacer Block</i>	Memberikan jarak saat <i> ejector </i> bergerak maju dan mundur, atau <i> stroke </i> untuk mengeluarkan produk dari <i> molding </i> .
7	<i>Ejector plate</i>	Digunakan untuk meletakkan <i> ejector pin </i> , <i> ejector angular </i> dan <i> return pin </i> .
8	<i>Ejector Retainer Plate</i>	Untuk mencegah <i> ejector-ejector </i> agar tidak lepas, plat ini akan didorong oleh <i> ejector rod </i> pada mesin injeksi.
9	<i>Bottom plate (moveable clamping plate)</i>	Berfungsi sebagai pengikat <i> mold </i> dengan <i> Machine Moveable Plate </i> .

### 2.7.4 Sistem Controller

Tombol-tombol untuk mengoperasikan serangkaian kerja mesin. Parameter yang disetting menggunakan control panel, antara lain:



*Gambar 2.8 Panel Control*

1. Lampu indikator

Lampu indikator disini menunjukkan bahwa arus listrik dalam rangkaian mesin ini sudah menyala pada rangkaian mesin injeksi plastik

2. PID Controller

Modul ini berfungsi untuk mengatur temperatur suhu pada rangkaian mesin injeksi plastik

3. Tombol on/off suhu

Tombol ini berfungsi sebagai pengaturan hidup dan mati temperatur control pada rangkaian mesin injeksi plastik

4. Tombol on/off motor

Tombol ini berfungsi sebagai pengaturan hidup atau mati motor penggerak screw pada rangkaian mesin injeksi plastik

5. Tombol on/off pendingin

Tombol ini berfungsi sebagai sistem pengaturan hidup atau mati sirkulasi pendinginan dan kipas pada rangkaian mesin injeksi plastik

6. Tombol on/off hidrolik

Tombol ini berfungsi sebagai sistem pengaturan maju dan mundurnya pneumatik pada rangkaian mesin injeksi plastik

## 2.8 Hipotesis Penelitian

1. Desain rangka yang menggunakan baja karbon menengah dengan penyambungan menggunakan metode pengelasan dan pengecatan pada proses finishing menghasilkan rangka yang kuat dan tahan lama.
2. Mesin injeksi plastik dengan rangka yang didesain mempermudah operator dalam menjalankan operasi mesin injeksi plastik.